View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by Tsukuba Repository

Tension-compression asymmetry in off-axis viscoplastic behavior of unidirectional carbon fiber reinforced composites and its phenomenological modeling

著者	張 剣奇
内容記述	Thesis (Ph. D. in Engineering)--University of Tsukuba, (A), no. 4966, 2009.3.25 Includes bibliographical references
発行年	2009
URL	http://hdl.handle.net/2241/111272

【152】

氏　名（国籍）	張（ちょう）　剣奇（けんき）（中　国）
学位の種類	博　士（工　学）
学位記番号	博　甲　第　4966　号
学位授与年月日	平成 21 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	システム情報工学研究科
学位論文題目	**Tension-Compression Asymmetry in Off-Axis Viscoplastic Behavior of Unidirectional Carbon Fiber Reinforced Composites and Its Phenomenological Modeling** （一方向炭素繊維強化複合材料の非主軸粘塑性挙動における引張・圧縮非対称性とその現象論的モデル化）

主　査	筑波大学教授	工学博士	河　井　昌　道
副　査	筑波大学教授	工学博士	渡　部　　修
副　査	筑波大学教授	工学博士	寺　本　徳　郎
副　査	筑波大学教授	工学博士	鈴　木　弘　之
副　査	筑波大学講師	博士（工学）	松　田　哲　也

論　文　の　内　容　の　要　旨

本論文は，一方向炭素繊維強化複合材料 T800H/Epoxy#2500 の高温における非主軸非線形変形挙動の繊維配向角依存性，ひずみ速度依存性，および引張・圧縮非対称性を記述することができる新しい工学的な粘塑性モデルを定式化し，その有効性を実験結果との比較に基づいて評価している。さらに，応用問題として，一方向積層板に対する現象論的な粘塑性モデルと古典積層理論を組み合わせて対称クロスプライ積層板の速度依存引張変形挙動を解析し，実験結果との比較に基づいて採用した粘塑性解析法の適用性を検討している。

まず，一方向 CFRP 積層板に対して，異なる繊維配向角についてそれぞれ二種類のひずみ速度で高温非主軸静的圧縮試験を行い，非主軸圧縮変形挙動の繊維配向角依存性と準静的な範囲におけるひずみ速度依存性を明らかにしている。また，同じひずみ速度の引張試験から求めた非主軸応力 — ひずみ関係と比較することによって，引張変形応力と圧縮変形応力の違い，およびそれらの繊維配向角依存性を定量的に評価している。さらに，これらの試験結果に基づいて，非主軸変形の非線形性，速度依存性，および非対称性を統一的に記述するための要件を明らかにし，発見的な観点から相当応力と相当塑性ひずみの表現に簡単な拡張を施すことによって一方向複合材料の引張・圧縮非対称性を簡易的に記述する方法を見出している。

次に，一方向繊維強化複合材料の非線形変形挙動およびその負荷速度依存性と引張・圧縮非対称性を記述することができる一般的な現象論的粘塑性構成モデルを提案している。具体的には，静水圧依存性と異方性を考慮することができる拡張された Hill の降伏基準に基づいて横等方性材料に対する有効応力を定義し，それに基づく超過応力と非可逆熱力学的定式化手法を用いて，一方向複合材料の非主軸変形挙動の記述に適した粘塑性構成モデルを導出している。また，せん断粘塑性応答がトランスバース圧縮応力によって変化する効果を考慮することによって構成モデルの適用性を高める試みも示している。さらに，提案する粘塑性モデルを用いて既報の実験に対応する解析を行い，計算結果と試験結果の比較に基づいてその有効性を検証している。

最後に，対称クロスプライ CFRP 積層板の非主軸引張挙動の速度依存性を予測する問題を取り上げ，プライベースの非弾性解析の有効性について検討している。このため，対称クロスプライ CFRP 積層板の非主軸平滑試験片（$\theta = 0$，5，15，45，90°）を用いて 2 種類の一定変位速度（1.0%/min，0.01% /min）による静的引張試験を高温で行い，非線形挙動とその速度依存性を調べている。続いて，一方向積層板に対する現象論的な粘塑性モデルと古典積層理論を組み合わせて対称クロスプライ積層板の速度依存引張変形挙動を解析し，実験結果との比較に基づいて採用した粘塑性解析法の妥当性を評価している。

審 査 の 結 果 の 要 旨

応力解析に基づく効率的な詳細設計を行うためには，CFRP 積層板の構成要素である一方向 CFRP の非主軸変形に与える負荷様式依存性［負荷方位の違いによる影響（引張・圧縮非対称性），負荷速度の影響，温度の影響など］を実験によって定量的に明らかにし，その結果に基づいて定式化された一方向 CFRP の構成モデルを用いて CFRP 積層板および CFRP 構造要素の荷重応答特性を精密に予測する技術が必要になる。この論文において議論された材料モデルの定式化はこの要請に直接的に応えるものとなっている。また，CFRP の時間に依存するマクロ変形挙動を引張だけでなく，圧縮についても体系的に明らかにしたことは，CFRP の時間依存非弾性変形をより深く理解することに大きく寄与するものである。したがって，これらの理論的および実験的な成果は，工学的に極めて有意義なものと判断できる。

よって，著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。